

И. А. Постников*

Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва

* postnikov.ivan@rambler.ru

Научный руководитель – в. н. с., к. т. н. И. Ю. Хмелевская

РЕГУЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ФОРМЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ ПРОВОЛОКИ СПЛАВОВ Ti–Ni С ПАМЯТЬЮ ФОРМЫ

В работе исследовали свойства проволоки сплава Ti–Ni с эффектом памяти формы, из которой изготавливали термочувствительные элементы для термозапорных газовых клапанов. Проволока обладала нехарактерным для околоэквиатомного сплава низким значением сопротивления деформации, из-за чего клапан закрывался при комнатной температуре. В работе пытались увеличить сопротивление деформации проволоки путем проведения дополнительного волочения при пониженных температурах с целью увеличения деформационного наклепа, регулируя при этом температурный интервал восстановления формы и степень восстановления формы последеформационным отжигом.

Ключевые слова: эффект памяти формы, термозапорные газовые клапаны, Ti–Ni проволока, термомеханическая обработка, сплавы с памятью формы, последеформационный отжиг.

I. A. Postnikov

REGULATION AND OPTIMIZATION OF FORM RECOVERY CHARACTERISTICS IN Ti–Ni WIRE WITH SHAPE MEMORY EFFECT

The properties of an industrial Ti–Ni wire with shape memory effect, that was used for making temperature sensing elements for thermal shutoff valves, were studied. Due to the low deformation resistance, which is untypical for near equi-atomic Ti–Ni alloys, the valve was closed at room temperature. There was an attempt to increase the deformation resistance, repeating the wire drawing at lower temperatures. The functional properties of the wire were regulated using the post-deformation annealing.

Keywords: shape memory effect, thermal shutoff valve, Ti–Ni wire, thermomechanical treatment, shape-memory alloys, post-deformation annealing.

Целью работы является выяснение причины и устранение «аномально» низкого сопротивления деформации проволоки сплава Ti–Ni с эффектом памяти формы, используемой для изготовления термочувствительных элементов (ТЧЭ) термозапорных газовых клапанов

(КТЗ). Проволока в результате «транспортных» испытаний прогибалась и КТЗ срабатывал при комнатной температуре (когда это не требуется).

Исследовали влияние разных режимов деформации волочением и последеформационных отжигов на фазовый состав при комнатной температуре и при температуре 150 °С, параметры решеток В2-аустенита и В19'-мартенсита, механические свойства, температурные и деформационные параметры восстановления формы проволоки сплава Ti - 50,1 ат. % Ni.

Установлено, что «аномально» низкое значение сопротивления деформации Ti-Ni проволоки при комнатной температуре обусловлено низким критическим напряжением образования и переориентации мартенситных фаз (90–100 МПа), что объясняется размягчением кристаллической решетки В2-аустенита из-за протекания фазового перехода в промежуточную R-фазу в непосредственной близости к комнатной температуре.

Сместить температуру фазового перехода в область более низких температур пытались путем термомеханической обработки [1,2]. Было проведено повторное волочение с вытяжкой $\mu \approx 1,15$ до диаметра, допустимого в конструкции КТЗ, при пониженных по сравнению с традиционным теплым волочением при 650 °С температурах (450, 550 °С). Функциональные и механические свойства регулировали с помощью последеформационного отжига при минимально возможных для задания формы температурах (350, 400 °С) [3].

Использованные режимы позволили получить требуемый температурный интервал восстановления формы 70–100 °С при высоких значениях полностью обратимой деформации (≈ 9 –10 %), однако повысить значение критического напряжения образования и переориентации мартенситных фаз, которое и обуславливает возможность деформации при низких напряжениях, не удалось. Рентгенофазовый анализ показал наличие большого количества R-фазы при комнатной температуре в образцах после использованных режимов обработки и в рекристаллизованном состоянии (закалка от 700 °С), что указывает на завышенное содержание никеля в твердом растворе по сравнению с номинальным ($\geq 50,2$ ат. %) [4]. Повторный анализ химического состава проволоки методом растворения подтвердил отклонение химического состава в разных участках бунта от предоставленного производителем ТЧЭ в сертификате (50,4–50,7 ат. % Ni, а не 50,1 ат. % Ni). В сплавах с таким содержанием никеля при температуре 350–500 °С происходят процессы старения с выделением фазы Ti_3Ni_4 , а мартенситное превращение протекает в 2 стадии через промежуточную R-фазу [5].

Таким образом, «аномально» низкое сопротивление деформации проволоки не может быть исправлено путем дополнительной деформации

и термообработки и проволока данного состава не может быть использована для изготовления ТЧЭ.

Автор выражает благодарность научным руководителям: проф., д. ф.-м. н. С.Д. Прокошкину, в. н. с., к. т. н. И.Ю. Хмелевской.

ЛИТЕРАТУРА

1. Prokoshkin S. D. Thermomechanical Treatment of TiNi Intermetallic-based Shape Memory Alloys / S. D. Prokoshkin, V. Brailovsky, K. E. Inaekyan // Materials Science Foundations. 2015. V. 81–82. P. 260–341.
2. Prokoshkin S. D. Structure and properties of severely cold-rolled and annealed Ti–Ni shape memory alloys / S. D. Prokoshkin, V. Brailovsky, K. E. Inaekyan // Materials Science & Engineering A. 2008. P. 114–118
3. Prokoshkin S. D. Structure and shape recovery characteristics of Ti–50.0% Ni thermomechanically treated industrial wire / S. D. Prokoshkin, I. Yu. Khmelevskaya, S. Y. Makushev // Abstr. Book ESOMAT 2009, Prague, Inst. Phys., 2009. P. 133
4. Prokoshkin S. D. On the lattice parameters of phases in binary Ti–Ni shape memory alloys / S. D. Prokoshkin, A. V. Korotitskiy, V. Brailovski // Acta Materialia, 2004. P. 4479–4492
5. Влияние старения на механическое поведение сплава Ti–50.7 % Ni / С. В. Олейникова [и др.] // Технология легких сплавов. 1990. № 4.